

- TURNER, F. J., & VERHOOGEN, J.: Igneous and Metamorphic Petrology. Second Edition. — McGraw-Hill Book Company, Inc. 1960, New York-Toronto-London.
- WEG, O.: Die zwischengebirgische Prasinitsscholle bei Hainichen/Berbersdorf. — Abh. sächs. geol. Landesanstalt, 1931, H. 11.
- WEINSCHENK, E.: Beiträge zur Petrographie der östlichen Zentralalpen, speziell des Groß-Venedigerstocks. — II. Abh. d. II. Cl. d. k. bayr. Ak. d. Wiss., XVIII. Bd., III. Abt., 1894, S. 717—746, und III. Abh. d. II. Cl. d. k. bayr. Akad. d. Wiss., XXII. Bd., II. Abt., 1903, S. 263—340.
- WEISSENBACH, N.: Umrechnung von Modalanalysen am Beispiel eines Gesteinsvergleiches zwischen Tonalitgraniten der Hohen Tauern und periadriatischen Tonaliten. — Meldearbeit am Mineralogischen Institut der Bergakademie Clausthal. Unveröffentlicht.
- WOYN, T. J.: Petrographische Untersuchung der Casannaschiefer des mittleren Bagnetales (Wallis). — N. Jb. Min., Beil. Bd. 33, 1912.

Die Mitteltrias der Mieminger Berge mit Vergleichen zum westlichen Wettersteingebirge

Von HUBERT MILLER, München *)

Mit 1 Tabelle und 7 Abbildungen

Inhalt

Zusammenfassung.

Einleitung.

1. Reichenhaller Schichten.
2. Die anisische Riff-Knollenkalk-Serie.
 - 2.0 Zur Namengebung.
 - 2.1 Beschreibung der Gesteinstypen.
 - 2.2 Die Tufflagen in den anisischen Hornsteinkalken.
 - 2.3 Fazies- und Mächtigkeitsverteilung der Serie und ihre Altersstellung.
3. Partnachschichten.
 - 3.1 Partnachmergel.
 - 3.2 Partnachkalk.
 - 3.3 Die Altersstellung der Partnachschichten.
4. Wettersteinkalk.
 - 4.1 Beschreibung der Gesteinstypen.
 - 4.2 Die Erzhorizonte.
 - 4.3 Mächtigkeit und Altersstellung des Wettersteinkalkes.
5. Zur Paläogeographie.

Schriften.

Zusammenfassung

Sedimente der anisischen und ladinischen Stufe aus dem Bereich der Mieminger Berge (Tirol) werden beschrieben, ihre Nomenklatur wird diskutiert und ihre Altersstellung kritisch überprüft.

Reichenhaller Schichten wurden im Gebiet erstmals als solche erkannt. Für die ehemals als „Muschelkalk“ bezeichneten anisischen Gesteine wird vorläufig als Sammelname „anisische Riff-Knollenkalk-Serie“ vorgeschlagen. Die reichen Tuffvorkommen in den anisischen Hornsteinkalken werden erstmals beschrieben. Sie entstammen lokalen oberanisischen Eruptionen. Als „Partnachkalk“ werden außer den kalkigen Zwischenlagen der Partnachmergel auch bestimmte,

*) Anschrift des Verfassers: Dr. H. MILLER, Institut für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie der Universität München, 8 München 2, Luisenstraße 37/I.

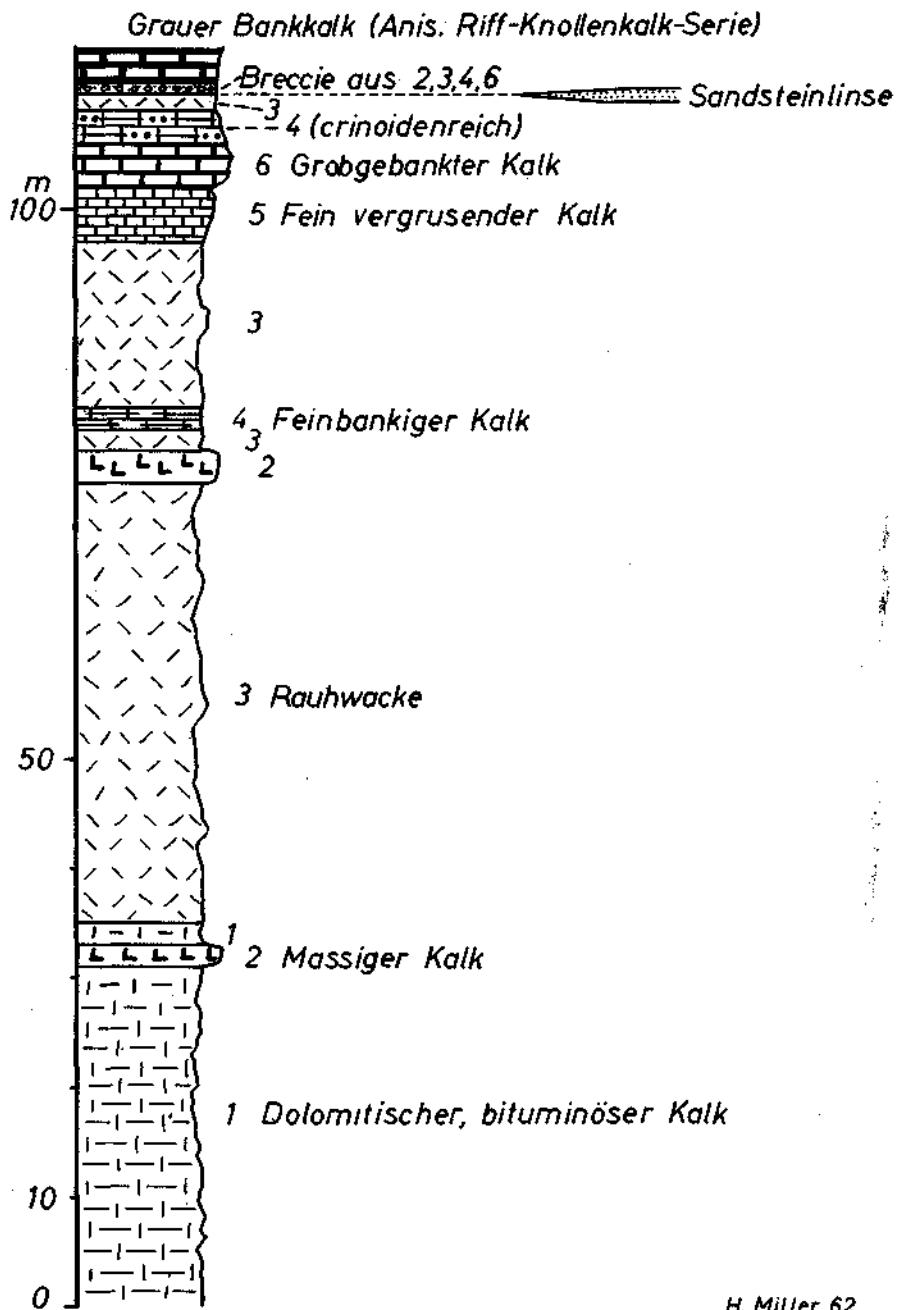


Abb. 1. Detailprofil der Reichenhaller Schichten vom Vorderen Taja-Törl.

durch ihre Schichtungsart charakterisierte Zwischenglieder zwischen Riff-Knollenkalk-Serie und Wettersteinkalk bezeichnet. Der in drei Faziesarten zu gliedernde Wettersteinkalk beginnt im Untersuchungsgebiet im Oberanis. Seine an bestimmte Horizonte gebundene Vererzung ist primär syngenetisch bis paradiagenetisch mit dem Nebengestein entstanden.

Einleitung

Die Mieminger Berge liegen als ein in Ost-West-Richtung sich erstreckender Gebirgszug zwischen dem Wettersteingebirge im Norden und der Hochfläche von Mieming bzw. dem Inn im Süden.

Ihre geologische Untersuchung wurde bisher sehr vernachlässigt. Nur OTTO AMPFERER beschäftigte sich zu Beginn dieses Jahrhunderts eingehender mit dieser Gebirgsgruppe (AMPFERER, 1905 a, b). Er legte aber das Hauptgewicht seiner Ausführungen auf die Schilderung des tektonischen Baues, so daß über den Schichtbestand des Gebietes kaum Näheres bekannt ist.

Die starke tektonische Heraushebung des Westteiles des Gebirges hat zur Folge, daß die Mieminger Berge ausgezeichnete Aufschlüsse in Gesteinen der anischen und ladinischen Stufe bieten, deren nähere Untersuchung in stratigraphischer und paläogeographischer Hinsicht zahlreiche neue Ergebnisse brachte. Auch für die Klarstellung des tektonischen Baues der Mieminger Berge (vgl. MILLER, 1963) war die exakte Untersuchung des Gesteinsbestandes eine unentbehrliche Hilfe.

Herrn Professor Dr. H.-J. SCHNEIDER, der meine Arbeit sehr förderte, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Der Deutsche Alpenverein unterstützte mich freundlicherweise durch eine namhafte Beihilfe.

1. Reichenhaller Schichten

Der Name, schon von MOJSISOVICS (1869, S. 94: Reichenhaller Kalk) gebraucht, ist für die zwischen „alpinem Buntsandstein“ und „alpinem Muschelkalk“ auftretenden Rauhwacken, Kalke und Dolomite allgemein üblich (ROTHPLETZ 1888, AMPFERER & HAMMER 1899, LEUCHS 1927, KLEBELSBERG 1935, M. RICHTER 1937, SCHMIDEGG 1951).

Die Reichenhaller Schichten sind die ältesten Gesteine des Untersuchungsgebietes. Im gesamten Wetterstein- und Mieminger Gebirge machte sie erstmals SCHNEIDER (1953 a) bekannt, der vom Arnsitzstock mehrere kleine Vorkommen in gestörter Lagerung beschrieb.

Der Verfasser konnte schon 1959 anlässlich der Neuaufnahme des Zugspitz-Westfußes am Ehrwalder Köpfl eine über 100 m mächtige Serie von Dolomiten, dolomitischen Kalken und Rauhwacken vom „Muschelkalk“ abtrennen und stellte sie zu den Reichenhaller Schichten (MILLER 1962). Bei der Kartierung der westlichen Mieminger Berge stellte sich nun heraus, daß die meisten der dort von AMPFERER (AMPFERER & OHNESORGE, 1912, 1924) als „Hauptdolomit“ und „Raibler Schichten“ aufgefaßten Gesteine zum Teil mit Sicherheit, zum Teil mit sehr großer Wahrscheinlichkeit das unmittelbare stratigraphische Liegende des „Muschelkalkes“ bilden und demnach zu den Reichenhaller Schichten gehören.

Es ist bezeichnend für eine gewisse Unsicherheit AMPFERERS bei der Altersdatierung der fraglichen Gesteine, daß er sich nur auf der „Spezialkarte“ stets auf die Zuordnung zur Ober-

trias festlegt, während er im Text (1902, 1905 b) sehr oft einfach von „Dolomiten“ oder „Rauhwacken“ spricht, ohne sie näher einzustufen.

Die Reichenhaller Schichten der Mieminger Berge bestehen im wesentlichen aus mehr oder minder kalkhaltigen Dolomiten, schichtigen und massigen Kalken sowie groblöcherigen Rauhwacken (vgl. Abb. 1). Diese Gesteine können sich seitlich weitgehend vertreten; die obersten 10—50 m der Serie sind praktisch in jedem Aufschluß anders zusammengesetzt. Als allgemeine Regel kann gelten, daß die Rauhwacken fast ausschließlich an die höheren Horizonte gebunden sind, während die kalkigen Dolomite sich mehr in den tieferen Horizonten finden. In den hangenden Teilen der Serie kommen lokal untergeordnet Sandsteine und Breccien vor.

Am weitesten verbreitet sind die kalkigen Dolomite. Sie sehen auf dem ersten Blick — schon ihres Zerfalls in polygonalen Grus wegen — dem Hauptdolomit, als welchen AMPFERER (AMPFERER & OHNESORGE, 1912) diese Gesteine kartierte, tatsächlich ähnlich und weisen, wie der norische Dolomit, meist kräftigen Bitumengeruch auf. Bei genauerer Prüfung sind aber folgende Unterschiede gegenüber den norischen Dolomiten festzustellen: Es handelt sich nie um reine Dolomite, ein gewisser Kalkgehalt ist stets feststellbar; Schichtung oder Bankung ist sehr selten zu beobachten, nur nordöstlich des Marienbergjoches ist deutliche Bankung die Regel; Feinschichten fehlen völlig; der Farbton ist allgemein etwas heller als der des Hauptdolomits.

Die durchweg kalkigen Rauhwacken sind ebenfalls häufig aufgeschlossen. Zu den Raibler Rauhwacken besteht kein deutlicher lithologischer Unterschied.

Die verschiedenartigen Kalke, die im Zusammenhang mit den Rauhwacken und Dolomiten vorkommen, schließen sich im lithologischen Habitus eng an die Gesteine der „Riff-Knollenkalk-Serie“ („alpiner Muschelkalk“) an.

Als hangender Abschluß der Reichenhaller Schichten oder wenige Meter unter ihrer Obergrenze findet sich stellenweise eine bis zu 1 m mächtige Breccie mit leicht wackigem Bindemittel. Als Komponenten sind in ihr fast alle liegenden Gesteine der Reichenhaller Schichten vertreten. Der Rundungsgrad der Komponenten pflegt innerhalb der Breccie nach oben etwas zuzunehmen.

In der von W zum vorderen Taja-Törl ziehenden Rinne ist unter der abschließenden Breccienbank eine maximal 1 m mächtige Sandsteinlinse eingeschaltet.

Ein Dünnschliff des Sandsteins sei kurz beschrieben: Die karbonatische Grundmasse ist dicht durchsetzt von Karbonat- und Quarzkörnern; vereinzelt findet sich Biotit, selten Muskovit und Chlorit, sehr selten sind stark korrodierte Plagioklase. Der Schliff ist durchstäubt von Pyrit, der alle Übergänge zu Brauneisen zeigt.

Das Vorkommen der Reichenhaller Schichten ist im wesentlichen an die Sattelkerne gebunden. Es ist in den Mieminger Bergen vom Nordfuß des Wannighandschuhspitzen-Kammes bzw. vom Westfuß der Sonn-Spitze in zwei Streifen nach E zu verfolgen, die sich an den Igels-Köpfen vereinigen. Im Igelskar verschwinden die Reichenhaller Schichten auf Grund des E-Fallens der B-Achsen von der Oberfläche. Zwischen Wettersteinkalk eingeschuppt finden sich Reichenhaller Dolomite am Ostgrat des Grünsteins und in der Südostflanke der Handschuhspitzen.

Die maximale, sichtbare Mächtigkeit (Marienbergjoch) beträgt 220 m. Die Altersstellung ist durch den meist stratigraphischen Zusammenhang mit der

anischen „Riff-Knollenkalk-Serie“ bereits im großen festgelegt. Der einzige Fossilfund, *Dadocrinus gracilis* (v. BUCH), in den dünnbankigen Kalken 2–5 m unter der Hangendgrenze am Vorderen Tajakopf, zeigt, daß der oberste Teil im Bereich der zentralen Mieminger Berge sicher schon dem Anis angehört. Da über diesen *Dadocrinus-gracilis*-führenden Schichten nochmals geringmächtige Rauhwacken auftreten (vgl. Abb. 1), ist hiermit auch bewiesen, daß die lithologisch den karnischen gleichenden Rauhwacken tatsächlich unteranisches Alter besitzen. In Parallelisierung mit den Reichenhaller Schichten des Karwendels (ROTHPLETZ, 1888, S. 413) und der Lechtaler Alpen („Oberskythische Rauhwacke“, HUCKRIEDE, 1959 b, S. 416) ist es wahrscheinlich, daß auch in den Mieminger Bergen die Reichenhaller Schichten schon in der skythischen Stufe beginnen.

2. Die anische Riff-Knollenkalk-Serie

2.0 Zur Namengebung

Unter dem Namen „Anische Riff-Knollenkalk-Serie“ werden hier diejenigen Gesteine zusammengefaßt, welche allgemein als „Muschelkalk“ bezeichnet werden. (Man vergleiche zum folgenden auch Tab. 1).

Die Einführung des Namens „Muschelkalk“ in die alpine Spezialliteratur geht vor allem auf GÜMBEL (1861) zurück, der Partnachschichten und Wettersteinkalk bereits zum Keuper rechnete. ROTHPLETZ (1888, S. 415 ff.) gliederte als erster den „Muschelkalk“ des Karwendelgebirges, den er als zeitliches Äquivalent des gesamten germanischen Muschelkalkes ansah, nach faziellen Gesichtspunkten in drei „Horizonte“: „Gasteropoden-Horizont“, „Brachiopodenkalke“ und „Ammoniten-Horizont“.

ROTHPLETZ hatte bereits die Schwierigkeit erkannt, „den Nodosus-Horizont des außer-alpinen oberen Muschelkalkes mit dem Ammoniten-Horizont oder irgendeinem anderen Gliede der alpinen Fazies in Beziehung zu bringen“ (1888, S. 417).

Nachdem sich später herausgestellt hatte, daß erst der höchste Teil des Wettersteinkalkes mit dem Keuper der germanischen Trias parallelisierbar ist, versuchten manche Autoren, die dadurch entstandene Unstimmigkeit durch Zusätze wie „im engeren Sinne“ (REIS, 1911), „im engeren alpinen Sinn“ (KLEBELSBERG, 1935), oder durch die Bezeichnung „Alpiner Muschelkalk“ (HABER, 1934) zu mildern.

PIA (1930, S. 95) möchte den Namen „Muschelkalk“ für alpine Gesteine aufrecht erhalten, die denen des germanischen Muschelkalkes lithologisch ähneln („Reiflinger Kalke, Prezzokalke, Buchensteiner Schichten“). Damit sind aber Mißverständnisse nicht ausgeschaltet, da erstens im germanischen Raum der lithologische Begriff „Muschelkalk“ eben mit dem Zeitbegriff identisch ist und zweitens bei diesem Verfahren diejenigen alpinen Gesteine weiter unbenannt bleiben, die, wie z. B. Riffkalke und Hornsteinknauerkalke, in der germanischen Mitteltrias kein fazielles Äquivalent finden.

WÖHRMANN (1894) vermied den Widerspruch zwischen Namen und Alter der Serie, indem er die alpine Stufengliederung nicht annahm und die in Frage kommenden Gesteine logisch richtig als unteren und teilweise mittleren Muschelkalk bezeichnete (vgl. Tab. 1). HUCKRIEDE (1959 a, b) setzte die „Anische Stufe“

		Karwendel ROTHPLETZ 1888	Nordalpen (= German. Trias) WÖHRMANN 1894	Wetterstein- gebirge REIS 1911	Südliche Berchtesgadener A. PIA 1924	Bayer.-tirol. Kalkalpen RICHTER 1937	Mittl. Lechtaler A. HUCKRIEDE 1959 a, b	Mieminger Berge MILLER 1962
L	ADIN	Wettersteinkalk Part-nachsicht.	Wettersteinkalk Part-nachsicht. M. Ojerer M.	Wettersteinkalk und Dolomit Hallstätter Kalk z. T.	Wettersteinkalk Part-nachsicht.	Ramsaudolomit Part-nachsicht.	Wetter- steinkalk Part-nachsicht. Arbergsch.	Wetterstein- kalk (bzw. Arber- kalk) Part- nachsicht.
S	M	hellgraue, an Kieselknollen reiche Kalke	Mitterer M.	Reiflinger Kalke z. T.	Muschelkalk Part-nachsicht.	Hornstein- knollen- kalke	Hornstein- knauerkalke und -dolomite des Illyr	Wetterstein- kalk Part- nachsicht.
A	N	Muschelkalk Ammoniten- Horizont	Muschelkalk Unterer	Pietra verde	Mittel anis im engeren Sinne	Steinalmkalk	Dolomite und Kalke des Pelson und Hydasp	Anische Riff-Knollenkalk-Serie Riffkalk Bankkalk Feingeschichteter Kalk Rhizocorallium-Gastropoden-Kalk
		Brachiopoden- kalke		Parthenensis- kalke		Guttlensteiner Kalk		
		Gasteropoden- Horizont		Kalke und Dolomite		Saalfeldener Rauhwacke		
Ober-	SKYTH	Myophorien- schichten	Ob. Buri- sandstein	Werfener Schichten oder Röth		Reichenhalter	Skythische Rauhwacke	Schichten

Tabelle 1. Nomenklatur und Gliederung innerhalb der anischen und ladinischen Stufe in Gebieten der Nördlichen Kalkalpen nach verschiedenen Autoren.

oder ihre Unterstufen als Überschrift über die Beschreibung der ehemals als „Muschelkalk“ bezeichneten Gesteine.

Die vorhandenen, lithologisch definierten Lokalnamen wie Reiflinger Kalk, Gutensteiner Kalk, Virgiliakalk usw. umfassen jeweils nur Teile der als „Muschelkalk“ bezeichneten Gesteinsgruppe. Ihre ausschließliche Anwendung (ZANKL, 1962, S. 449 ff.) bildet eine nomenklatorisch sehr exakte Lösung des Problems, würde aber zu einer unüberschaubaren Zergliederung einer doch zusammenhängenden Serie führen.

Ich bin überzeugt, daß der hier vorgeschlagene Sammelname „anisische Riff-Knollenkalk-Serie“ noch keine Ideallösung darstellt, möchte ihn aber dennoch der als Zeit- und Gesteinsbegriff nur für die germanische Mitteltrias eindeutig zutreffenden Bezeichnung „Muschelkalk“ vorziehen.

2.1 Beschreibung der Gesteinstypen

Innerhalb der in den Sattelkernen der Mieminger Berge weit verbreiteten Serie kommen im wesentlichen fünf Gesteinstypen vor, die sich horizontal und vertikal wechselseitig in gewissem Ausmaß ersetzen können (vgl. Abb. 5 und 6).

Typ A. Rhizocorallium - Gastropoden - Kalk e. Sie entsprechen lithologisch dem „Gasteropoden-Horizont“ ROTHPLETZS (1888, S. 415 f.). Charakteristisch für sie sind cm-plattige, manchmal etwas knollige, graue, tonige, oft bituminöse Kalke. Sie enthalten massenweise die unter dem Namen Rhizocorallium zusammengefaßten Problematica als wulstartige Unregelmäßigkeiten auf Schichtoberflächen, sowie sporadisch kleine Schnecken- und Lamellibranchiaten-Steinkerne. Häufig führen sie die zierlichen Stielglieder von *Dadocrinus gracilis* (v. BUCH).

An Fossilien fanden sich:

- Problematica: *Rhizocorallium* sp.
 Gastropoda: Steinkerne von mindestens 2 Gattungen.
 Lamellibranchiata: „*Avicula*“ sp.
Pecten cf. inconspicuus BITTN.
Modiola sp.
 Edinodermata: *Dadocrinus gracilis* (v. BUCH)
Encrinus aff. *liliiformis* SCHLOTH.
Encrinus sp.
Pentacrinus sp.

Typ B. Riffkalk. Von den meisten Autoren wird als „mittlerer Muschelkalk“ ein grobgebankter bis massiger Kalk bezeichnet, der den „Brachiopodenkalken“ ROTHPLETZS (1888, S. 416) entsprechen soll.

Die vorzüglichen, oft von den Reichenhaller Schichten bis zum Wettersteinkalk durchgehenden Aufschlüsse der Mieminger Berge zeigten, daß hier ein horizontaler massiger Kalk nicht existiert, wohl aber eine Unmenge von Riffstotzen verschiedenen Ausmaßes, die sämtliche Faziesbereiche durchsetzen können. Ihre Größenverhältnisse schwanken von etwa 10 m maximaler Mächtigkeit bei 100 m streichender Erstreckung bis zu 100 m maximaler Mächtigkeit bei mehreren 100 m Aushalten im Streichen. Besonders schön sind diese Riffklötze in der Westflanke des Vorderen Taja-Kopfes (Abb. 2) und in der Nordwand der Westlichen Gries-Spitze zu beobachten.

Lithologisch sind die hellbraungrauen Kalke oft nicht vom Wettersteinkalk zu unterscheiden. Im hinteren Drachenkar fallen stockförmig ausgebildete, anke-

ritische Verdrängungskörper durch ihre bräunliche Anwitterung und die stellenweise Anreicherung von Brauneisen auf. Die Massenkalke werden an manchen Stellen von ca. 1 m mächtigen Partien dünnbankiger toniger Kalke durchzogen, die meist stark tektonisch verquetscht sind. Diese Einlagerungen bilden oft das einzige Kriterium, im Gelände die anisischen Riffe vom Wettersteinkalk zu unterscheiden.

An Fossilien wurden nur Stockkorallenreste und Crinoidenstielglieder gefunden.

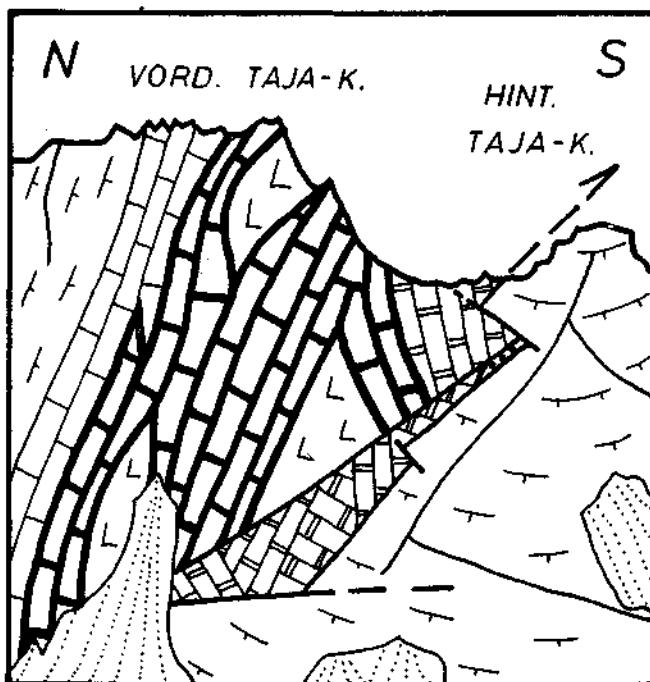


Abb. 2. Riffstotzen in gebankten Kalken des Anis. Westflanke des Vorderen Taja-Kopfes. Signaturen siehe Abb. 7.

Typ C. Hornsteinfreie Bankkalke kommen häufig unter, zwischen und über den Riffen vor. Die Bänke weisen Mächtigkeiten von etwa 1 bis 10 dm auf und entsprechen in Fazies und Fossilführung etwa den „Brachiopodenkalke“ ROTHPLETZS (1888, S. 416). Die hell- bis mittelgrauen, in dünnen Splittern braun durchscheinenden Kalke zeigen vereinzelt rotbraune Flecken. Besonders die dunkleren Varietäten sind häufig leicht bituminös.

Aus einer Bank am Nordgrat der Gries-Spitzen konnten zahlreiche Fossilien folgender Arten geborgen werden:

Brachiopoda: „*Rhynchonella*“ *decurtata* (GIR.)
Tetractinella trigonella (SCHLOTH.)

Echinodermata: *Encrinus* sp.
Pentacrinus cf. *subcrenatus* MÜNST.
Pentacrinus sp.
Cidaris sp.: 1 Warzenplatte.

Typ D. Hornsteinkalke. Sie stellen das Äquivalent des „Ammoniten-Horizontes“ bei ROTHPLETZ (1888, S. 416) und der darauf folgenden, von ihm nicht näher eingestuften „kieselknollenreichen Kalke“ dar. Es muß aber betont werden, daß der Name „Horizont“ für das Gebiet der Mieminger Berge nicht ganz zutrifft, da die Hornsteinkalke hier nicht streng horizontgebunden sind, wenn auch die hangendsten Teile der Serie besonders häufig aus ihnen bestehen.

Die Hornsteinkalke können als dunkelgraue, teils braunstichige, dichte, oft knollige Kalke beschrieben werden. Sie sind reich an bräunlich-schwarzen Hornsteinen, die hellbraun auswittern und knollig bis schlieflich schichtparallel innerhalb der etwa 5—15 cm mächtigen Bänke liegen. Stellenweise werden auch die unregelmäßig ausgebildeten Bankoberflächen von Hornsteinkrusten überzogen. Selten kommen Bänke von sehr dichten, muschelig brechenden, grünstichigen Kalken vor, die mit ihren rostbraunen Röhrenausfüllungen an neokome Kalke erinnern. Vereinzelt sind Wühlspuren zu beobachten. Tuffitische (?) grünlich-gelbe Schichtüberzüge sind häufig. Die Gesteine ähneln somit sehr den „Reiflinger Kalken“ der Steiermark.

In die Hornsteinkalke sind häufig grüne Tuffe eingeschaltet, deren Beschreibung ein eigenes Kapitel gewidmet ist.

An mehreren Stellen — am auffälligsten in der Nordwand der Westlichen Gries-Spitze — sind Kalke wie Hornsteine graurot bis tiefrot gefärbt. Beachtenswert ist, daß die Rotfärbung ausschließlich im Liegenden von Tufflagen auftritt (vgl. Abb. 5), und zwar hier nur unter „dichten“ schwer als solchen erkennbaren Tuffen bzw. Tuffiten, nicht aber unter den gut ausgebildeten Kristalltuffen.

Für derartige bunte, hornsteinreiche Knollenkalke der anischen Stufe schlug PIA (1924, S. 49) nach einer Lokalität im Karwendel den Namen „Schusterbergkalk“ vor.

An Fossilien wurde in den gesamten Hornsteinkalken nur ein *Balatonites cf. gemmatus* Mojs. gefunden.

Typ E. Feingeschichtete Kalke. Diese Fazies tritt vor allem am Wannig und am Ehrwalder Köpfl auf. Dort finden sich mächtige Partien eines mittelgrauen, von Kalzittrümchen durchschwärzten Kalkes, der auf den ersten Blick massig wirkt. Erst bei näherer Untersuchung zeigt sich, daß das Gestein mm-fein geschichtet ist. Die Schichtung ist oft so schlecht ausgeprägt, daß sie nur im angewitterten Zustand schattenhaft wahrzunehmen ist; sie unterscheidet die Kalke aber eindeutig vom Riffkalk.

An Fossilfunden sind von den Mieminger Bergen und vom Ehrwalder Köpfl zu erwähnen: Gastropoda: Unbestimbarer Schneckensteinkern

Lamellibranchiata: *Lima* sp.

Echinodermata: *Dadocrinus gracilis* (v. BUCH)
Pentacrinus sp.

Mergellagen. Als Seltenheit sind vom Westfuß der Marienberg-Spitzen blättrig zerfallene Mergel zu nennen, die in einer Mächtigkeit von 4 Metern dm-bis m-bankigen grauen, dichten, hornsteinarmen Kalken eingelagert sind. Dünne Mergellagen treten bisweilen in den hangendsten Teilen der Hornsteinkalke auf. Eine Besonderheit innerhalb des „Schusterbergkalkes“ bilden rot/hellgrau gefleckte, kalkarme Mergel, die im Streichen nicht mehr als einige 10 m aushalten.

2.2 Die Tufflagen in den anisischen Hornsteinkalken

Beobachtungen älterer Autoren:

Schon ROTHPLETZ (1888, S. 416) beschrieb aus dem Karwendel in den hornsteinführenden Kalken, die über seinem „Ammoniten-Horizont“ folgen, „das Auftreten grüner thoniger Schiefer und grünlicher dünnbankiger glimmer- (Biotit-) reicher Sandsteine mit grünen Hornsteinknollen“, erkannte aber ihren vulkanischen Ursprung nicht. Spätere Autoren (z. B. AMPFERER, 1932, HABER, 1934, KLEBELSBERG, 1935, SCHMIDEGG, 1951) erwähnen kurz „Tuffe“ oder „Pietra-verde-ähnliche Gesteine“ aus Karwendel und Lechtaler Alpen, ohne sich näher

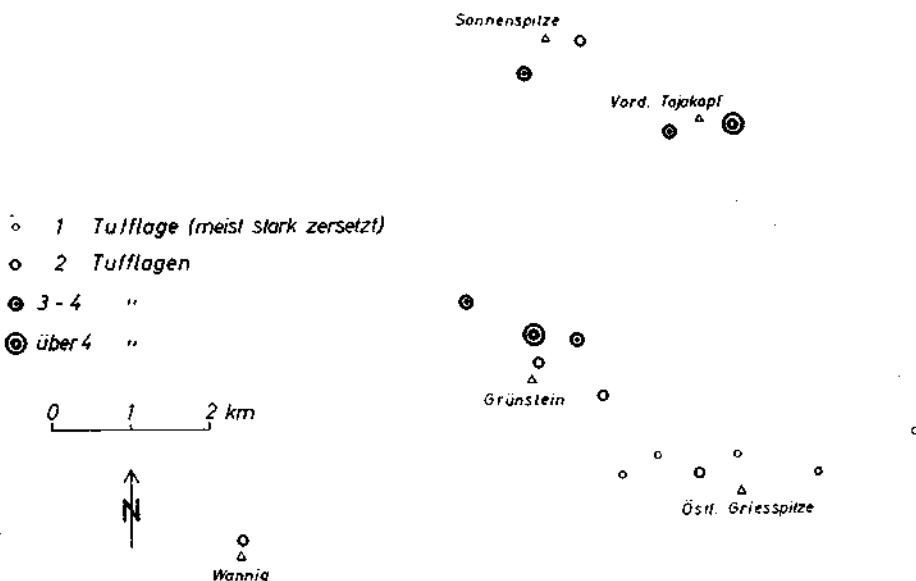


Abb. 3. Die Verbreitung der oberanischen Tuffe in den Mieminger Bergen. Nur gute Aufschlüsse sind berücksichtigt. Tektonik rückgeformt!

mit ihrer geologischen Stellung zu beschäftigen. Der erste, der anlässlich des Neufundes derartiger Gesteine im nordwestlichen Wettersteingebirge ausführliche petrographische und geochemische Untersuchungen darüber anstellte, war VIDAL (1953). KRUMM ergänzte 1957 die Reihe der Fundpunkte im Wettersteingebirge durch die Entdeckung von Tufflagen im „oberen Muschelkalk“ der Gegend von Wamberg.

Aus den Mieminger Bergen führt AMPFERER (1905 b, S. 485) von der Tajaalpe-Westflanke „grüne Mergellagen“ an. TAUPITZ (1954, Abb. 42) fand im Profil des Max-Braun-Stollens (Schachtkopf-Bergbau) stark verkieselte Tuffe.

Verbreitung und Lagerung der Tuffe

Bei der Neukartierung ergab sich, daß wir in den Mieminger Bergen mit ihren reich aufgeschlossenen anisischen Hornsteinkalken ein besonders günstiges Gebiet zum Studium der nordalpinen Anisvulkanite vor uns haben.

Die optimale Entwicklung und die besten Aufschlüsse finden sich auf der Ost- und Westseite des Vorderen Taja-Kopfes (AMPFERERS „grüne Mergellagen“), auf der Nordseite der Biberwierer Scharte und am Westfuß des Hinteren Drachenkopfes. Auch in der Westflanke der Westlichen Marienberg-Spitze liegen mächtige Vorkommen.

In den Nordwänden und -graten des Mieminger Hauptkammes ist die Tuffführung wesentlich schwächer ausgeprägt. Man findet meist nur eine, höchstens zwei Lagen eines dichten, weißlich-grünen „pietra-verde-ähnlichen“ Gesteins, das makroskopisch nicht immer sicher als Tuff anzusprechen ist. Stellenweise sind die Tuffe vollständig zu hellgrünen bis weißen Tonen zersetzt.

Die Verbreitung der Tuffe in den Mieminger Bergen (Tektonik rückgeformt!) geht aus Abb. 3 hervor. Sie zeigt ein NE—SW-streichendes Gebiet maximaler Tuffentwicklung im Bereich der nordwestlichen Mieminger Berge. Die Tuffe halten sich fast ausschließlich an die obersten 5—10 m der anischen Hornsteinkalke (Typ D).

In der Nordwand der westlichen Gries-Spitzen finden sich ca. 60 m unter dem üblichen Tuffhorizont in Begleitung mächtiger roter Hornsteinkalke dünne Lagen grüner „Mergel“, deren Tuffnatur nicht sicher feststeht. Die Art der Vergesellschaftung der Tuffe mit dem Nebengestein geht aus zwei Beispielen (Abbildung 4) hervor. Allgemein fällt die Verbindung der Vulkanite mit kieselsäure-reichen Mergeln auf. Die Anzahl der Tufflagen wechselt von ein bis maximal zehn, die Mächtigkeit der kalkigen Zwischenschaltungen von einigen Dezimetern bis zu einigen Metern.

Die einzelnen Tuffbänke sind stark absätzig, setzen aber — in um dm-Beträge veränderten Horizonten — meist bald wieder ein. Dabei ist bemerkenswert, daß die den Tuffhorizont in einem Abstand begleitenden Mergellagen mehr oder weniger ungestört durchziehen.

Auffällig ist auch der Zusammenhang der Intensität der Hornsteinführung des Nebengesteins mit der Tuffentwicklung. Im Bereich maximaler Tuffmächtigkeit ist auch der SiO₂-Gehalt des Nebengesteins besonders hoch, während in Gebieten fehlender Tuffe kaum Hornsteinkalke zu finden sind.

Petrographische Beschreibung

Der petrographischen Ausbildung nach handelt es sich zum Teil um Kristalltuffe mit allen durch ein Zunehmen des Karbonatgehaltes gekennzeichneten Übergängen zu Tuffiten. Reine Aschentuffe, wie sie VIDAL (1953, S. 63 ff.) vom Wettersteingebirge beschreibt, konnten in den Mieminger Bergen nicht festgestellt werden. Vermutlich waren die weit verbreiteten, „pietra-verde-ähnlichen“, „dichten“ Tuffe, die mikroskopisch fast ausschließlich aus Sekundärmineralen bestehen, ursprünglich Aschentuffe.

Die Kristalltuffe, mittelkörnige, geschichtete, grünlich-weiße Gesteine, sind im Bruch rauh von Plagioklasen und Biotiten, die bis zu 1 mm Größe erreichen können. Oft ist schon mit bloßem Auge eine Abnahme der Korngröße vom Liegenden ins Hangende einer Bank wahrnehmbar („graded bedding“).

U. d. M. erweisen sich die Feldspäte der Kristalltuffe als basische Plagioklase. Sie sind häufig nach dem Albitgesetz verzwilligt und zeigen manchmal Zonenbau. In wechselndem Ausmaß werden sie von innen und vom Rande aus in Hellelmlimmer und Karbonat umgewandelt. Der reichlich vorhandene, schichtparallel eingeriegelte Biotit ist stark pleochroitisch (hellelmbraun bis dunkelkastanienbraun) und oft geknickt und an den Enden ausgefranst. Größtenteils zu „Leukoxen“ umgewandelter Ilmenit ist sehr verbreitet. Seltener sind eckige Quarzkörner und Apatit. Glas ist nur mehr in Relikten wahrnehmbar, sonst meist in Hellelmlimmer umge-

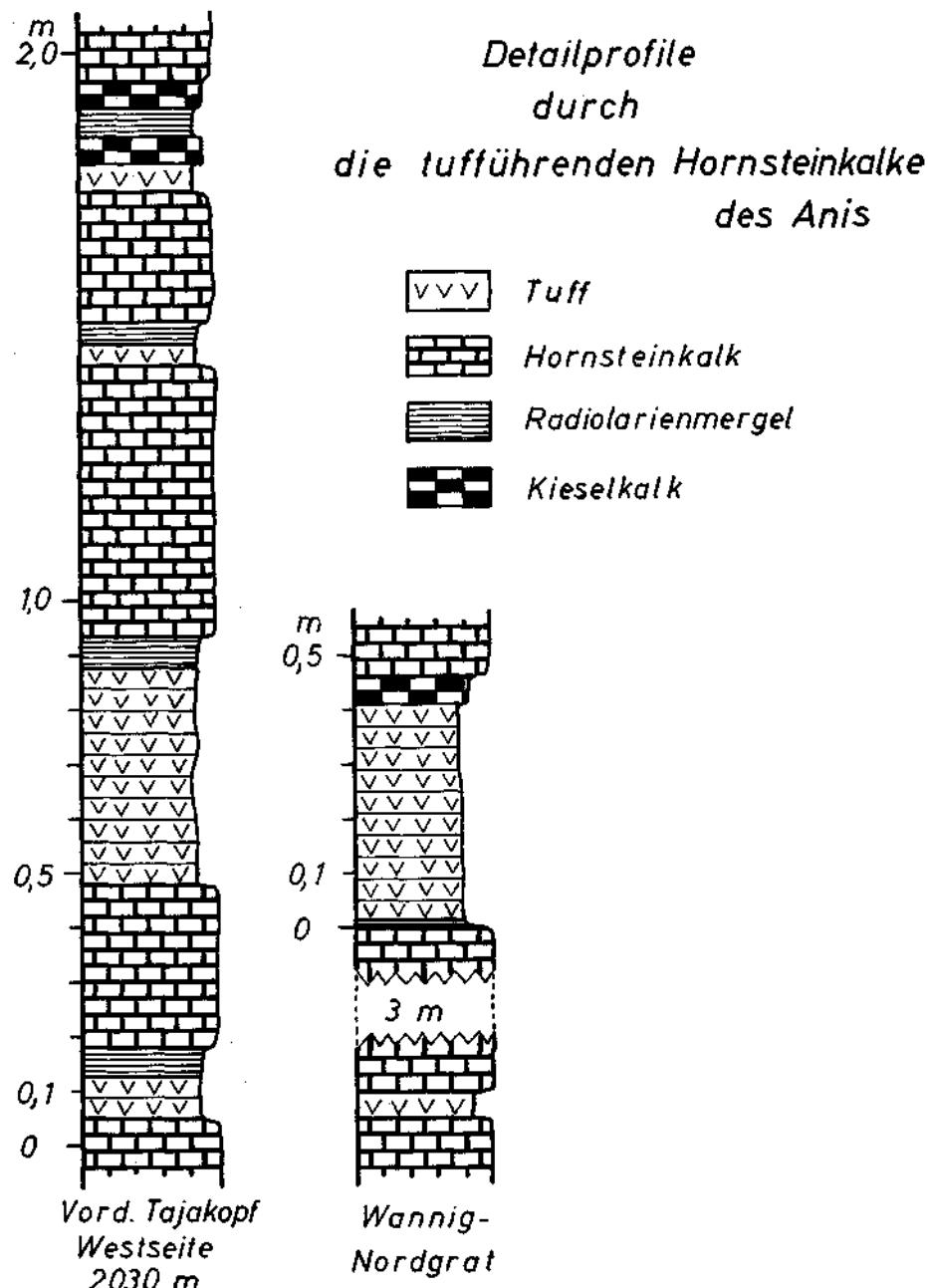


Abb. 4. Detailprofile durch tuffführende Hornsteinkalke des Anis. Auffällig ist die Vergesellschaftung der Tuffe mit radiolarien- und kieselsaurereichen Gesteinen.

setzt. Einen großen Teil der Schlifffläche nehmen im allgemeinen feinkörniges Karbonat sowie feine Hellglimmer- und Chloritaggregate ein.

Die im Handstück dicht erscheinenden Tuffe lassen u. d. M. Feldspäte und Biotit meist nur in Relikten wahrnehmen. Der Rest besteht aus Glimmeraggregaten, Chloriten und in wechselndem, zum Teil hohem Ausmaß aus Karbonat. Meist ist diese Grundmasse von Leukoxen durchstaut.

Zur Frage der Herkunft der Tuffe

Die Frage der Herkunft der nordalpinen Tuffe war bisher umstritten. Während ein Teil der Autoren (HUMMEL, 1932, S. 435; CORNELIUS, 1941, S. 90; VIDAL, 1953, S. 67 ff.) eine Einwehung aus den tuffreichen Gebieten der Südalpen annimmt, sprechen sich andere (KRUMM, 1957, HUCKRIEDE, 1959 a, S. 50 f.) für eine autochthone Entstehung auf Grund nordalpiner vulkanischer Tätigkeit aus.

Der Verfasser wies bereits auf das oberanisische Alter des unteren Wettersteinkalkes hin (MILLER, 1962), das eine Parallelisierung der Tuffe des Wettersteingebirges mit den Pietra-verde-Gesteinen der Buchensteiner Schichten, wie sie VIDAL (1953) vornimmt, nicht erlaubt (vgl. auch S. 196). HUCKRIEDE (1959 a) führt als Beweis für die präladinische Entstehung der Tuffe insbesondere das illyrische Alter der Tuff-führenden „Schusterbergkalke“ (*Paraceratites trinodosus* [Mojs.], *Proarcestea extralabitus* [Mojs.]) an.

KRUMMS Vermutung auf Herkunft der Wamberger Tuffe (nördliches Wettersteingebirge) aus dem Gebiet von Lech am Arlberg ist durch das verschiedene Alter der vulkanitführenden Arlbergschichten von Lech einerseits und der oberanisischen Hornsteinkalke andererseits widerlegt.

Es bleibt allerdings noch offen, ob die nordalpinen Tuffe nicht etwa mit den, wenn auch spärlichen, südalpinen anisischen Tuffen in genetischem Zusammenhang stehen könnten.

Gegen diese Annahme und für autochthone Entstehung sprechen aber mehrere Beobachtungen an den Tuffen der Mieminger Berge.

1. Zunächst ist die auffällige konzentrische Anordnung der Orte gleich starker Tuffentwicklung zu nennen (vgl. Abb. 3). Sie läßt sich sehr einfach erklären, wenn man im Raum der maximalen Tuffführung ein oder mehrere an einer Spalte aufgereihte Eruptionszentren annimmt. Ein eindeutiger Beweis hierfür wäre natürlich der Fund eines Eruptionsschlotes. Solche Schlothe sind aber auch in Gebieten mit lang anhaltendem und sehr intensivem Vulkanismus selten aufgeschlossen, so daß ein Auffinden von Zufuhrspalten für die geringmächtigen Tuffe der nördlichen Kalkalpen ausgesprochen unwahrscheinlich ist.

2. Andererseits ist eine so auffällige Variation der Tuffmächtigkeiten bei Einwehung über eine Entfernung von mit Sicherheit weit über 100 km nicht vorstellbar. Im nordwestlichen Wettersteingebirge (VIDAL, 1953) geht diese Mächtigkeitsabnahme sogar von 250 cm („tekttonisch verstärkt“, VIDAL, 1953) bis zu völligem Verschwinden (am Westfuß des Zugspitzstocks) innerhalb weniger km Entfernung. Gegen Einwehung oder Einschwemmung spricht auch das im wesentlichen nur punktweise Auftreten der Tuffe innerhalb eines großen Verbreitungsgebietes (Lechtaler Alpen bis Oberösterreich).

3. Einen weiteren Hinweis auf autochthone Förderung gibt die im Kleinen absätzige Ausbildung der Tuffbänke des Vorderen Taja-Kopfes, die in merkwürdigem Gegensatz zur gleichmäßigen Sedimentation der darüber folgenden

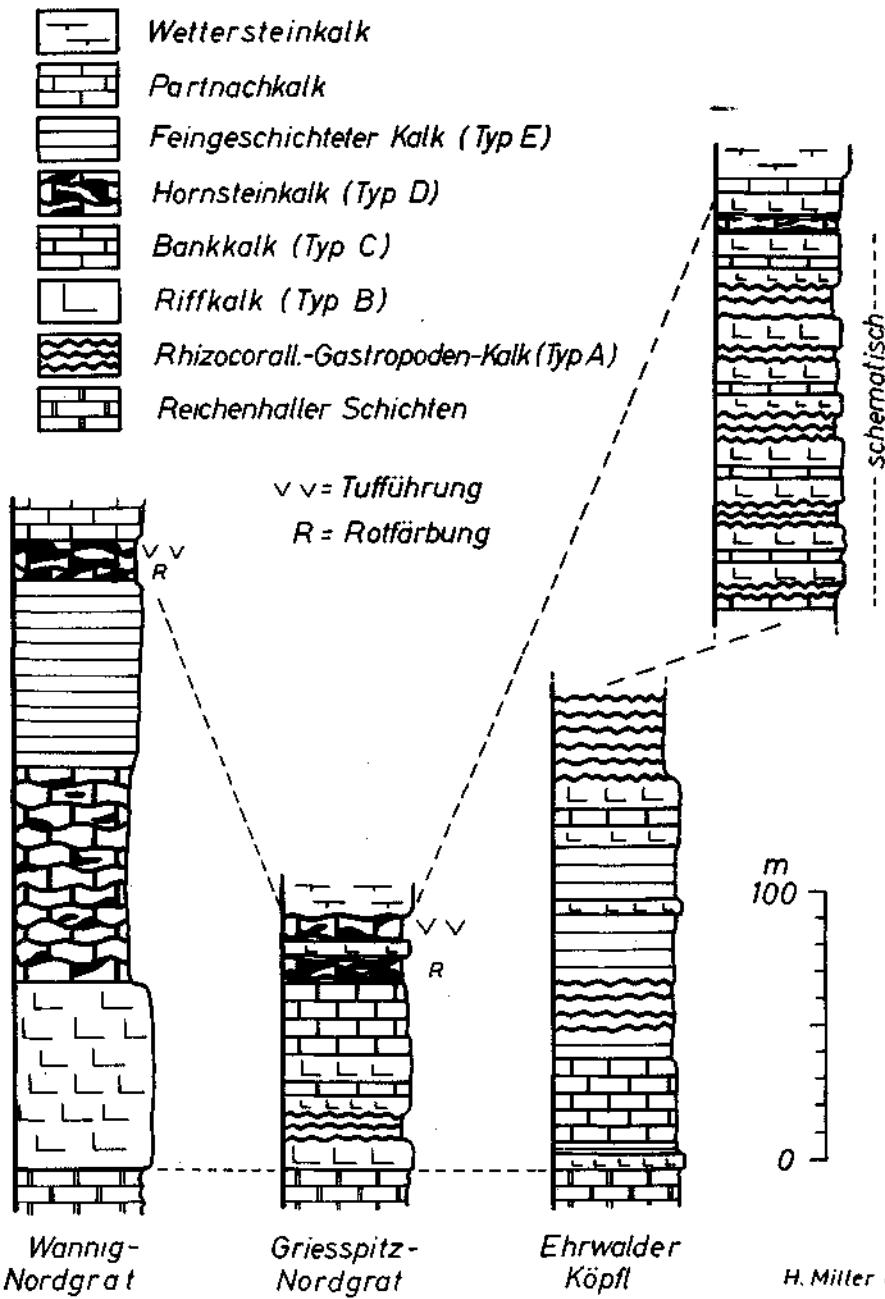


Abb. 5. Schichtprofile durch die anisische Riff-Knollenkalk-Serie. Sie zeigen die Uneinheitlichkeit der Fazies.

Mergelbänke steht. Dieser Unterschied kann m. E. am besten durch die Annahme ungleichmäßiger submariner Erosion zur Zeit der Tuffbildung erklärt werden; diese aber lässt wieder auf lokale vulkano-tektonische Ereignisse schließen.

4. Ferner ist die oft sehr gut entwickelte Korngrößenabnahme der Tuffe zum Hangenden hin („graded bedding“) sowie der am Wannig beobachtete Übergang von Kristalltuffen zu makroskopisch kornfreien Tuffen schwer mit einem weiten Transport zu vereinbaren. Hierbei könnte höchstens eine weiträumige horizontale Korngrößenklassierung entstehen, aber kaum eine engräumig vertikale, die noch dazu stets eine Abnahme der Korndurchmesser nach oben zeigt.

5. Bis zu 4 mm große Einschlüsse im Radiolarienschlick unmittelbar unter einer Tuffbank im Zentrum der Mächtigkeitsentwicklung der Tuffe lassen sich als Lapilli deuten. Ihre sporadische Einschaltung in feinstkörnige Sedimente lässt Einwehung oder Einschwemmung aus einem entfernten Liefergebiet unglaublich erscheinen.

Selbst bei kritischer Betrachtung des einen oder anderen dieser für eine lokale Eruptionstätigkeit sprechenden Hinweise macht ihr Zusammentreffen doch die hier vertretene Ansicht einer autochthonen Förderung der Tuffe des Wetterstein- und Mieminger Gebirges sehr wahrscheinlich.

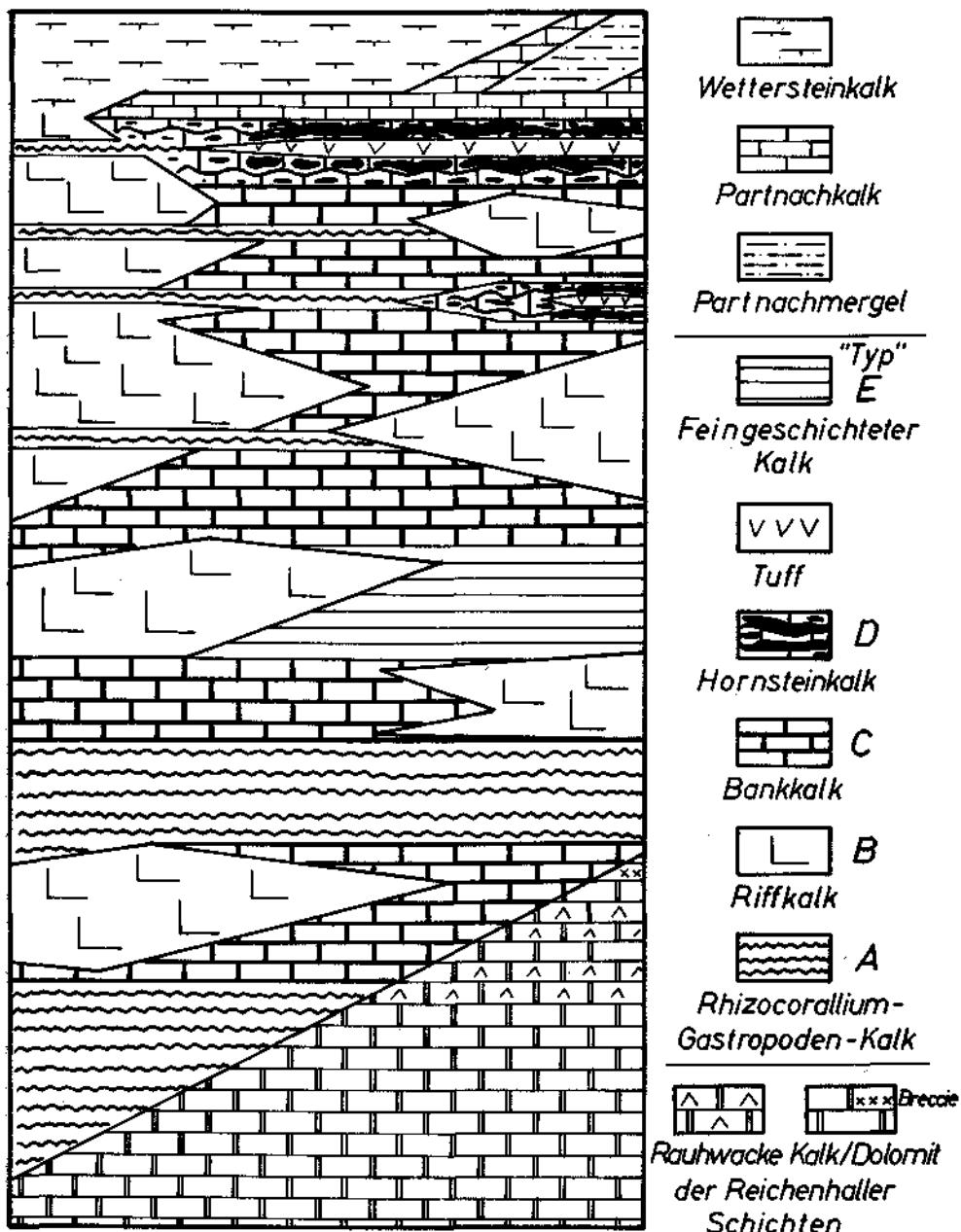
Die Tuffe stellen damit einen der wenigen Zeugen eines nordalpinen triassischen „initialen Magmatismus“ dar, der in seiner Intensität mit dem der Südalpen allerdings kaum vergleichbar ist.

Das Alter der Tuffe ist durch das ihres Begleitgesteines gegeben: Es ist mit größter Wahrscheinlichkeit oberanisisch (s. u.).

2.3 Fazies- und Mächtigkeitsverteilung der Serie und ihre Altersstellung

Wir haben bereits gesehen (vgl. S. 191 ff.), daß die verschiedenen Gesteinstypen der anischen Riff-Knollenkalk-Serie in den Mieminger Bergen nicht horizontgebunden auftreten, sondern sich gegenseitig weitgehend ersetzen können. Einigermaßen niveaukonstant sind nur die Rhizocorallium-Gastropoden-Kalke (Typ A), die sich zum größten Teil an die tieferen Teile der Serie halten, und die Hornsteinkalke (Typ D), die hauptsächlich in den hangendsten Partien vorkommen. Riffkalke (Typ B) und Bankkalke (Typ C) sind dagegen in allen stratigraphischen Niveaus anzutreffen. Die feingeschichteten Kalke (Typ E) konnten nur an wenigen Stellen beobachtet werden, die ebenfalls wahrscheinlich nicht im gleichen Horizont liegen. Drei Profilsäulen (Abb. 5) und eine schematische Übersicht (Abb. 6) geben Einblick in den bunten Gesteinswechsel innerhalb der Serie.

Die Gesamtmächtigkeit der Riff-Knollenkalk-Serie schwankt in den Mieminger Bergen von ca. 80 m (Griesspitz-Nordgrat; vielleicht durch Störung bedingt) bis durchschnittlich 200 m. Im Wettersteingebirge kann die Mächtigkeit der Serie weit über 400 m erreichen. Innerhalb der zentralen Mieminger Berge hängen die Mächtigkeitsschwankungen im westlichen von der wechselnden Entwicklung der Rifffazies ab. Der große Mächtigkeitsunterschied zwischen Mieminger Bergen und Wettersteingebirge geht dagegen wenigstens zum Teil wahr-



H. Miller 62

Abb. 6. Schematische Darstellung der Schichtfolge der anisischen Stufe in den Mieminger Bergen.

scheinlich auf eine gewisse partielle seitliche Vertretbarkeit von Reichenhaller Schichten und Riff-Knollenkalk-Serie zurück.

Aus der Fossilführung kann geschlossen werden, daß die anische Riff-Knollenkalk-Serie im Unteranis (Hydasp) beginnt und sicher auch Mittelanis enthält. Die genaue Lage der Untergrenze ist wegen der partiellen Vertretbarkeit durch Reichenhaller Schichten gewissen Schwankungen unterworfen. Die Serie reicht sicher weit ins Oberanis hinein. Der aufgefundene *Balatonites gemmatus* Mojs. wurde von Mojsisovics (1882) aus der Zone des *Ceratites trinodosus* beschrieben. Sein Leitwert ist aber gering, da er Mojsisovics nur in einem Exemplar bekannt war.

Die Oberkante der Serie fällt nicht mit der Anis-Ladin-Grenze zusammen, da die Faunen des unteren Wettersteinkalkes der Umgebung für oberanisches Alter der tiefsten Teile dieses Schichtgliedes sprechen.

3. Partnachschichten

Der Name wurde schon von GÜMBEL (1858) für die Tonmergel nördlich und südlich der Partnachklamm gebraucht. Er wurde bis 1899 auf die zwischen „Alpinem Muschelkalk“ und Wettersteinkalk gelegenen oder — wie an der Originallokalität — den letzteren völlig vertretenden Tonmergel und die ihnen zwischengelagerten Kalkbänke beschränkt (s. u.).

3.1 Partnachmergel

In den Mieminger Bergen finden sich Partnachmergel am Schachtkopffuß, in seinem Innern (Bergbauaufschlüsse) sowie vorzüglich aufgeschlossen in der Westflanke des Wampeten Schrafens und der Marienberg-Spitzen. Der fazielle Übergang der tonreichen Mergel in Partnachkalke und das Ausspitzen der Partnachkalke (s. u.) im Wettersteinkalk gehen aus Abb. 7 hervor. Die Mergel sind auf diese wenigen Lokalitäten am Westrand der Mieminger Berge beschränkt, bilden also nur eine Linse oder einen schmalen Streifen.

Ihre fazielle Entwicklung erhellt aus dem Profil vom Fuß des Wampeten Schrafens (ca. 1900 m NN), in das die anschließend zu besprechenden Partnachkalke bereits mit aufgenommen sind.

(hangend) Unterer Wettersteinkalk.

50 m Partnachkalk: 2–3 m mächtige, massive Kalke, wechselnd mit 2–5 dm mächtigen, 1 cm- bis 5-cm-gebankten, bräunlichgrauen, dichten, muschelig brechenden Kalken.

12 m Partnachmergel: dünngriffig brechende, dunkelgraue, kalkarme Tonmergel. Die durch den Schnitt der Schichtung mit einer kräftigen Schieferung entstandenen „Griffel“ sind wegen starker (ac-)Klüftung meist nur wenige cm lang. Eingeschaltet sind in unregelmäßigen Abständen (dm bis m) graue, gelbbraun anwitternde, wesentlich kalkreichere Lagen von cm- bis dm-Mächtigkeit. Sie zeigen stellenweise Boudinage.

1,5 m Partnachkalk: Braungrauer massiger Kalk.

15 m Partnachmergel: Tonmergel wie oben.

1 m Partnachkalk.

5 m Partnachmergel.

5 m Partnachkalk.

5 m Partnachmergel.

50 m Partnachkalk wie oben.

(liegend) Hornsteinkalk der Riff-Knollenkalk-Serie.

3.2 Partnachkalk

AMPFERER & HAMMER (1899) schieden im südlichen Karwendel die unteren, dunklen, fleckigen, großoolithreichen Partien des Wettersteinkalkes als „Partnachkalk“ aus. Zur Begründung führten sie an, daß die Fauna dieser Kalke der der Partnachmergel weitgehend entspräche und die Kalke daher die Mergel-fazies hier vertreten.

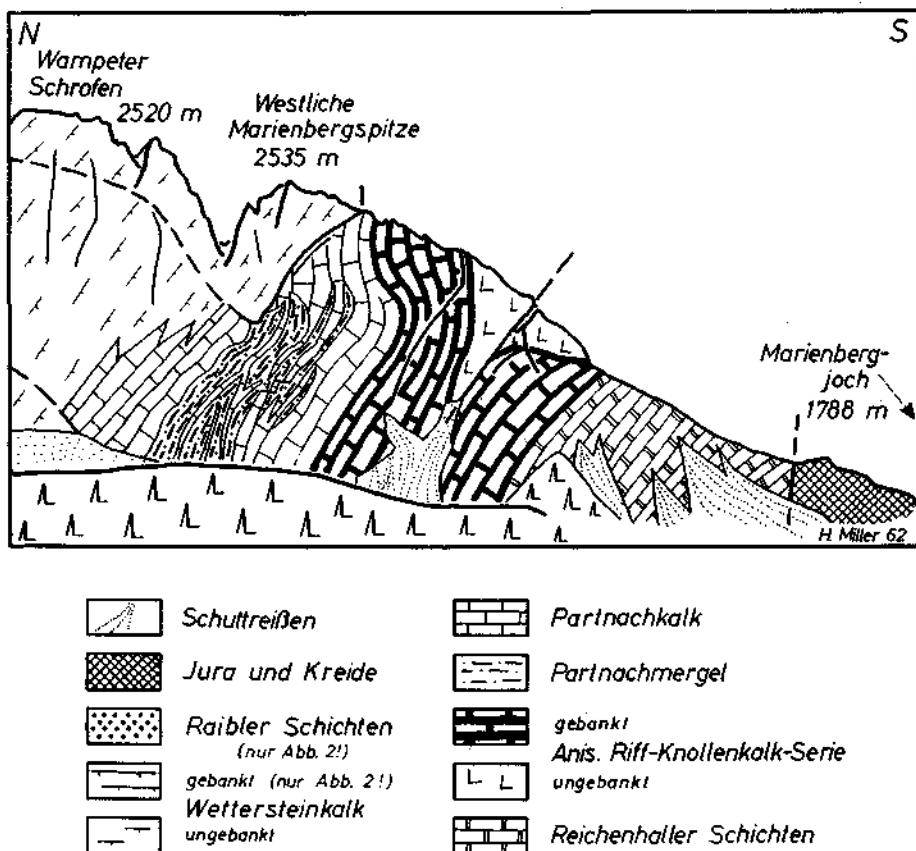


Abb. 7. Die Westflanke der Westlichen Marienberg-Spitze vom Schachtkopf aus gesehen. In der linken Bildhälfte das Auskeilen der Partnachmergel im Partnachkalk und das Auskeilen des Partnachkalkes im Wettersteinkalk. Eine N-S-streichende (in Bildebene liegende) Verwerfung setzt die Partnachschichten gegen den Wettersteinkalk der Marienberg-Spitze ab. Nach einer photographischen Aufnahme von Herrn Dipl.-Geol. K. GERMANN.

Der so erweiterte Begriff der Partnachkalke — vorher war diese Bezeichnung nur für die den Mergeln zwischenlagernden Kalkbänke gebräuchlich (vgl. die ausführliche Arbeit SKUPHOS' (1892), der erstmals die stratigraphische Stellung der Partnachschichten klärte) — hat sich nicht recht durchgesetzt. AMPFERER selbst braucht ihn andernorts nicht, beispielsweise in den Mieminger Bergen, wo stratigraphisch wie lithologisch die „Partnachkalke“ des südlichen Karwendels häufig zu finden sind (AMPFERER 1905 b, S. 499; 1944, S. 38). KLEBELSBERG (1935)

glaubt, daß die „Partnachkalke“ weit verbreitet und nur noch nicht überall erkannt sind. SCHMIDEGG (1951) führt sie vom Halltal an. SCHNEIDER (1953 a) übernimmt die Definition AMPFERERS & HAMMERS (1899) für die „dunklen Kalkserien“ zwischen „Muschelkalk“ und Wettersteinkalk des Arnspitzstocks.

Das geringe Echo, das die Anregung AMPFERERS & HAMMERS fand, ist sicherlich darauf zurückzuführen, daß, zumindest seit die vollständige Vertretbarkeit des Wettersteinkalkes durch Partnachschichten i. e. S. gesichert war (MYLIUS, 1916), allgemein unter „Partnachschichten“ die Beckenfazies, unter „Wettersteinkalk“ die Riff- und Seichtwasserfazies des Ladins verstanden wurde. Nun sind die Partnachkalke obiger Definition mit großer Sicherheit weitgehend Riffbildung. Alle Autoren, die derartige Partnachkalke beschreiben, heben den Reichtum an Großoolithstrukturen hervor, der für sie geradezu typisch sei. Großoolithe sind aber, wie LEUCHS (1928, S. 387) und VIDAL (1953, S. 71) darlegen, lithologischer Beweis für Riffazies. Da nun die Partnachschichten i. e. S. wegen ihrer teilweise vollständigen Vertretung des Wettersteinkalkes — Stanzer Tal und Arlberg (KLEBELSBERG, 1935), nördliches Wettersteingebirge (MYLIUS, 1916; LEUCHS, 1924) — weniger als stratigraphischer Horizont denn als Faziesbezeichnung verstanden werden sollten, halte ich die Einführung des Namens Partnach-... für die Riffgesteine des unteren Wettersteinkalkes nicht für glücklich.

Es gibt aber in den mergelfreien Serien des Wetterstein- und Mieminger Gebirges zwischen den Hornsteinkalken der anischen Riff-Knollenkalk-Serie und dem Wettersteinkalk Sedimente, die als mögliches Zwischenglied zwischen Beckenfazies und Riffazies gelten können. Ich habe diese den kalkigen Zwischenlagen der Partnachmergel sehr ähnlichen Kalke als „Partnachkalk“ bezeichnet und als „bräunlichgraue, teilweise fleckige Kalke mit überaus charakteristischem Schichtungsrhythmus (dickbankig/dünnbankig)“ beschrieben (MILLER, 1962, S. 410). Der Schichtungsrhythmus äußert sich im Wechsel von mehrere Meter mächtigen, dickbankigen bis massigen Partien mit 2—3 dm messenden Paketen dünnerer, nur einige cm starker Schichten. Vereinzelt ist schwache Hornsteinführung zu beobachten. Die Kalke enthalten keine Großoolithe, auch sonst keine Hinweise auf Riffazies; u. d. M. erweisen sie sich als foraminiferenführender Ovoidpelit.

Diese zunächst im Wetterstein- und zentralen Mieminger Gebirge aufgestellte Definition fand bei der Untersuchung der Partnachschichten an der Westflanke der Mieminger Berge ihre Bestätigung. Der lithologische Habitus der „Partnachkalke“ in den partnachmergelfreien Gebieten entspricht genau dem der Kalkbänke, die innerhalb der Partnachmergel eingeschaltet sind. Die Partnachmergel werden am Wampeten Schrofen oben und unten (vgl. Detailprofil S. 104) von Kalken des Partnachkalk-Charakters obiger Definition begleitet.

Im Wettersteingebirge (Höllentalkar) treten die Partnachkalke dieser Begriffsbestimmung auch innerhalb des unteren Wettersteinkalkes in rinnenförmigen Zügen auf. Sie verzahnen sich häufig mit massigem Wettersteinkalk (Schneefernerkopf-Westwand; Westrand der Mieminger Berge, vgl. Abb. 7) sowie geringfügig mit typischen Hornsteinkalken des Oberanis.

Stellenweise sind die Partnachkalke überhaupt nicht erkennbar entwickelt. Dies ist vor allem dort der Fall, wo die Riff-Knollenkalk-Serie in ihren hangenden Partien grobbankig bis massig sowie hornsteinarm oder -frei ist und somit schrittweise in den Wettersteinkalk übergeht (Nordteil der Sonnenspitz-Ostflanke, Schneefernerkopf-Westwand).

3.3 Die Altersstellung der Partnachsichten

Selbstverständlich ist bei einer näheren Einstufung zu berücksichtigen, ob sie im betrachteten Gebiet den gesamten Wettersteinkalk vertreten oder nur seine unteren Teile. Die Grenze gegenüber den unterlagernden Hornsteinkalken ist innerhalb des Untersuchungsgebietes im wesentlichen zeitlich konstant. Verzahnungen mit dem Hornsteinkalk der Riff-Knollenkalk-Serie im m- bis 10-m-Bereich wurden schon erwähnt.

An Fossilien kann als Neufund nur ein schwer bestimmbarer Brachiopode, vielleicht *Spirigera quadripecta* (MÜNST.) aus Partnachkalken des Südfußes des Wettersteingebirges genannt werden. BÖSE (aus KOCKEL, RICHTER & STEINMANN, 1931, S. 12) führt *Sp. quadripecta* aus dem unteren „dolomitischen Wettersteinkalk“ der Ammergauer Alpen an. Nach der Zusammenstellung, die SKUPHOS, (1892) gibt, kommen von den 55 damals aus den Partnachsichten bekannten Arten 7 auch im „Muschelkalk“, 12 im Wettersteinkalk und Hallstätter Kalk, 11 in den Raibler Schichten vor, womit die enge Beziehung zu den jüngeren Schichten, d. h. die Zugehörigkeit im wesentlichen zur ladinischen Stufe, ange-deutet ist. *Rhynchonella trinodosi* BITTN. (Ferchenbach bei Partenkirchen) weist allerdings darauf hin, daß ein gewisser Teil der Partnachsichten des Wettersteingebirges und wahrscheinlich auch der Mieminger Berge noch zum Anis gerechnet werden muß, was mit den gleichlautenden Ergebnissen für den unteren Wettersteinkalk der Schneefernerkopf-Westwand (s. S. 208) übereinstimmt.

4. Wettersteinkalk

4.1 Beschreibung der Gesteinstypen

Name und Umgrenzung sind eindeutig. Die „Partnachkalke“ nach AMPFERER & HAMMER (1899) werden nunmehr (s. o) zum Wettersteinkalk gezogen.

Die drei im Wettersteingebirge schon von REIS (1911) erkannten lithologischen Typen: Massiger „unterer Wettersteinkalk“, gebankter, algenreicher „mittlerer Wettersteinkalk“, feingeschichteter „oberer Wettersteinkalk“ sind auch in den Mieminger Bergen zu beobachten.

Der massive „untere“ Wettersteinkalk ist überwiegend von hellgrauer bis hellbraungelber Farbe. Seine untersten 50—100 m sind häufig dunkelgrau gefärbt und mitunter schwach rotfleckig („Partnachkalk“ nach AMPFERER & HAMMER, 1899 und SCHNEIDER, 1953 a). Sie sind besonders reich an Großoolithen, die nach LEUCHS (1928, S. 387) und VIDAL (1953, S. 71) die Riffnatur ihres Nebengesteins beweisen.

Der massive Wettersteinkalk zeigt stellenweise (Coburger Hütte, Marienbergjoch) hellbräunlichgelbe, fein vergrusende dolomitische Lagen; in den dunklen Kalken des Wannigippels finden sich in kleinen Hohlräumen häufig mm-große rosafarbene Dolomitkristallchen.

Der von REIS (1911, S. 68) als „mittlere Hauptmasse des Wettersteinkalks“ bezeichnete Gesteinstyp wird durch seine vorzügliche Bankung im dm- bis m-Bereich und, vor allem im Wettersteingebirge, durch den Reichtum an Dasycladaceenresten charakterisiert. Die Farbe des Gesteins spielt etwas ins Bräunliche. Die Dasycladaceenkalke sind sicher keine Riffbildungen i. e. S. Sie sind in relativ seichtem, bewegtem Wasser entstanden.

Riffkalk und Algenrasenkalk bilden in den Mieminger Bergen wie im Wettersteingebirge keine stratigraphischen Niveaus,

sondern können sich seitlich weitgehend vertreten. Im Wettersteingebirge nimmt die geschichtete, algenreiche Fazies auf Kosten der massigen, Korallen und Großoolithe führenden von N nach S zu (vgl. MILLER, 1963, Abb. 4), in den Mieminger Bergen von W nach E.

Die obersten 100—200 m des Wettersteinkalkes zeichnen sich vor allem durch ihre auffällige Feinschichtung auf. Synsedimentäre Feinbreccien und Kreuzschichtungsgefüge sowie das aus vielen Gebieten bekannte Vorkommen von Megalodonten und dickwandigen Schnecken deuten auf lebhafte Wasserbewegung und somit auf Entstehung in seichtem Wasser hin.

4.2 Die Erzhorizonte

Der Wettersteinkalk ist durch eine nicht unerhebliche Erzführung ausgezeichnet. Die Erze sind im wesentlichen an drei Horizonte gebunden, die als „unterer Horizont“, „oberer Horizont“ und „Grenzhorizont“ bezeichnet werden können.

Unterer Horizont

Der braungrau fleckige untere Wettersteinkalk des oberen Drachen- und Brendlkars ist etwa 50—80 m über der Grenze zum Partnachkalk bzw. Hornsteinkalk schwach mit Buntmetallerzen imprägniert; Anflüge von Kupfer-Oxydationserzen fallen besonders auf, Zinkblende und Bleiglanz kommen ebenfalls vor (vgl. hierzu die „Partnachkalk-Vererzung“ bei TAUPITZ, 1954). Begleitet wird die Vererzung von Ankerit und Quarz, wobei innerhalb des Verbreitungsgebietes der Erze in den zentralen Mieminger Bergen der Quarzgehalt von E nach W, der Ankeritgehalt von W nach E zunimmt. Im Brendlkar fanden auf die Ankeriterze sogar Bergbauversuche statt.

Der Quarz dieses Horizontes tritt in idiomorphen Kriställchen auf, von denen drei Typen unterschieden werden können:

- Bis zu 5 mm große Kristallindividuen mit allseitig gut ausgebildeten Prismen und Rhomboedern. U. d. M. zeigt sich, daß sie durchweg nur zonar skelettförmig gewachsen sind. Die Rhomboeder sind teilweise kappenquarzartig verdickt.
- Quarze von ca. 0,5 mm Prismendurchmesser, die keine Skelette bilden, sondern kompakt sind, aber von Karbonatmikrolithen durchsetzt werden.
- Kleine, durchschnittlich 0,1 mm messende Kriställchen. Ihre Prismen können die 3fache Länge der Rhomboeder erreichen, aber auch völlig unterdrückt sein, so daß im Schliff fast quadratische Querschnitte resultieren. Zonar angeordnete Einschlüsse von Karbonatmikrolithen sind fast stets zu sehen.

Diese Vererzung ist nach GERMANN (1963) als paradiagenetisch zum Nebengestein und syngenetisch mit den Großoolithen aufzufassen. Ein einzelnes Erzvorkommen in stratigraphisch etwa 50—100 m höherer Lage dürfte dagegen syngenetisch mit dem Nebengestein entstanden sein.

Oberer Horizont

Der obere Wettersteinkalk zeigt eine wesentlich intensivere Vererzung als sein unterster Teil. Sie ist — soweit nicht sekundäre Umlagerungsprozesse eine größere Rolle spielen — streng an den Faziestyp des „oberen Wettersteinkalkes“ gebunden. Dies gilt nicht nur für das engere Untersuchungsgebiet, sondern, wie SCHNEIDER (1953 b) und TAUPITZ (1954) nachwiesen, für den gesamten Raum der bayerisch-nordtiroler Kalkalpen.

Haupterze sind Zinkblende und Bleiglanz sowie „Galmei“ als Oxydationsprodukt der Zinkblende. Flußspat kommt häufig als Begleiter der Erze vor, Schwerspat nur sehr untergeordnet. Als seltene Sekundärminerale sind Descloizit und Greenockit zu nennen.

Häufig (insbesondere am Hinteren Taja-Kopf) wird die Erzanreicherung von einer auffallenden Dolomitisierung des Wettersteinkalkes begleitet: In feinkörnigem Karbonat sprossen allseitig von Kristallflächen begrenzte Dolomitrhomboeder auf, die zusammenstoßend ein texturloses, grobkörniges Pflastergefüge ergeben.

U. d. M. kann beobachtet werden, daß in makroskopisch feinschichtigem Material die Schichtung durch Abwechseln feinkörnigen Karbonats, das arm an Dolomitrhomboedern ist, und von Lagen, die fast nur aus grobkörnigem Dolomit bestehen, gebildet wird. Da der feinkörnige Anteil im wesentlichen kalcitisch ist, bestand im feingeschichteten Gestein wohl ursprünglich eine Schichtung Kalzit-Pelit/Dolomit-Pelit, wobei der Dolomit bei der Diagenese zu größeren Kristallen sammelkristallisierte.

Grenzhorizont

Ein dritter Erzhorizont, der in einer Mächtigkeit von 0,5—1 m die Obergrenze des Wettersteinkalkes bildet („Grenzhorizont“), führt als Primärerz ausschließlich Pyrit. Er fällt durch die bei der Verwitterung des Pyrit entstehenden Brauneisenkrusten besonders auf.

Zur Genese der Erze

Die Entstehung der Erze dieser drei verschiedenen Wettersteinkalk-Horizonte kann auf keine Weise einem einzigen, posttektonischen Vorgang zugeordnet werden, da diese Erze sich trotz enger räumlicher Nachbarschaft grundlegend unterscheiden (unterer Horizont: viel Fe und Si, wenig Pb und Cu, sehr wenig Zn, kein F; oberer Horizont: viel Zn, Pb und Mg, reichlich F, kein Cu; Grenzhorizont: nur Fe).

Die Verteilung der Erztypen auf die verschiedenen, durch erzfreie Zonen getrennten, stratigraphischen Niveaus ist stets verwirklicht, gleich ob die Schichten heute horizontal liegen oder steil stehen. Die primäre Erzzufuhr ist also mit Sicherheit p r ä t e k t o n i s c h erfolgt (syn- und posttektonische Umlagerungsprozesse im Ausmaß bis zu etwa 100 Metern fanden später noch statt). Die Bindung der Erze an ganz bestimmte, auch sonst ausgezeichnete Horizonte (primäre Si- bzw. Mg-Anreicherung im Sediment) macht eine s y n s e d i m e n t ä r e b i s h ö c h s t e n s p a r a d i a g e n e t i s c h e Entstehung der Metallkonzentrationen sehr wahrscheinlich.

4.3 Mächtigkeit und Altersstellung des Wettersteinkalkes

Die Mächtigkeit des gesamten Wettersteinkalkes beträgt im Zugspitzgebiet 1000 m, am Westfuß des Wampeten Schrofens, wo der untere Teil durch Partnachschichten vertreten wird, etwa 500 m. Mit dem Auskeilen der Mergel gegen E nimmt in den Mieminger Bergen die Mächtigkeit rasch zu und erreicht in der Umgebung der Mitterspitzen das ungewöhnliche Ausmaß von über 1500 m.

Wesentlich für die Altersdatierung des Wettersteinkalkes ist die Fauna, die REIS (1900, 1905, 1926) aus dem unteren Wettersteinkalk der Schneefernerkopf-Westwand, beschrieb. Das Vorkommen von Ammoniten der *Trinodosus*-Zone und von *Tetractinella trigonella* (SCHLOTH.) macht eine Zugehörigkeit des unter-

sten Wettersteinkalkes zum Oberanis zumindest für das westliche Wettersteingebirge sehr wahrscheinlich (s. a. ARTHABER, 1905, S. 291; DIENER, 1915, S. 430; PIA, 1930, S. 17; HABER, 1934, S. 39). Für das südliche Karwendel machte ALMA (1926) oberanisisches Alter des unteren Wettersteinkalkes so gut wie sicher.

LEUCHS (1947) erklärt die REIS'sche Fauna für ladinisch, da von den 61 Ammonitenarten der Fauna nur 13 der *Trinodosus*-Zone angehörten, während 39 Arten und 5 Varietäten neu hinzukämen. Er vergibt dabei aber, daß diese 39 Arten und 5 Varietäten überhaupt als „n. sp.“ von REIS beschrieben wurden (ALMA 1926, S. 129) und daher zunächst ebensowenig gegen wie für ein anisisches oder ladinisches Alter sprechen.

Der Fazies- und Farb(!)-Wechsel, der nach LEUCHS (1947, S. 453) dazu beihilft, die Lage der Anis-Ladin-Grenze an der Grenze Knollenkalk/Wettersteinkalk „relativ sehr genau“ festzulegen, ist bei dem innerhalb der alpidischen Geosynklinale zu dieser Zeit lebhaften horizontalen Fazieswechsel wohl kaum zur Abgrenzung zweier Stufen geeignet.

Die Obergrenze des Wettersteinkalkes wird üblicherweise an der Wende Ladin/Karn angenommen. Wie in jüngster Zeit JACOBSHAGEN (1961) hervorhob, ist diese Stufengrenze ursprünglich von MOJSISOVICS (1892) unter der Zone des *Trachyceras aon* („Cordevol“) und damit unter den Cassianer Schichten festgelegt worden und wird in der angelsächsischen und italienischen Literatur auch noch in diesem Sinne gebraucht.

Nach der von MOJSISOVICS (1892) aufgestellten Parallelisierungstabelle reicht der Wettersteinkalk noch in die Zone des *Trachyceras aon* und damit in die karnische Stufe hinein. Nach WÖHRMANN (1893, S. 735) und ROTHPLETZ (1894, S. 71 f.) sind die tiefsten Glieder der Raibler Schichten im weiteren Sinn („Haller Schichten“ nach ROTHPLETZ, 1894, S. 72) mit den Cassianer Schichten zu parallelisieren und fallen also ebenfalls in die Zone des *Tr. aon*. Demnach läge die Obergrenze des Wettersteinkalkes vielleicht innerhalb der Zone des *Tr. aon* oder an ihrer Untergrenze, d. h. im untersten Karn (nach der ursprünglichen Definition).

Es darf allerdings nicht außer acht gelassen werden, daß der „präkarnischen Regression“ (KOCKEL, RICHTER & STEINMANN, 1931, S. 14 ff.) wohl eine gewisse Zeit der Abtragung entspricht (auch wenn die Regression nicht zu vollständiger Emersion geführt hat), so daß die wahre Ladin/Karn-Grenze in Teilen der Nordalpen vielleicht gar nicht durch Sedimente repräsentiert wird. Eine Definition der Grenze Ladin/Karn auf Grund der Transgression der Raibler Sandsteine ist auf jeden Fall abzulehnen.

5. Zur Paläogeographie

Die Reichenhaller Dolomite sind die ersten vollmarinen, rein chemischen Sedimente der nordalpinen Geosynklinale.

Die in den höheren Teilen der Reichenhaller Schichten sich einstellenden Rauhwacken stellen Anklänge an Salinarfazies her und sind Anzeichen eines nochmaligen Rückzuges des Meeres. Die oftmals am Übergang zur Riff-Knollenkalk-Serie zu beobachtende mehrfache Wechsellagerung von Kalken und Rauhwacken deutet auf rhythmische Schwankungen der Meerestiefe hin. Den Abschluß dieser Schwankungsperiode bilden die Sandsteine und Breccien des Taja- und Igelskopfes. Diese neu entdeckten Einschaltungen grobklastischer Gesteine markieren den Höhepunkt und zugleich das Ende der tieftriassischen epirogenetischen Un-

ruhen im Sedimentationsraum der mittleren Mieminger Berge. Die Breccien sind zeitlich und lithologisch mit dem „Muschelkalk-Konglomerat“ der Südtiroler Dolomiten (KLEBELSBERG, 1935, S. 332 f.) ungefähr vergleichbar; genau genommen dürfen sie etwas jünger sein, da nur in den Nordalpen unter den Breccien schon *Dadocrinus gracilis* vorkommt.

Die Anzeichen für eine unteranische Regression und Transgression sind im wesentlichen auf die zentralen Mieminger Berge beschränkt. Im Sedimentationsraum des Wettersteingebirges und des SW-Teiles der Mieminger Berge scheint die hochmarine Fazies im Unteranis nur wenig unterbrochen worden zu sein.

Das Meer, in dem die Gesteine der Riff-Knollenkalk-Serie entstanden, war reich in Riffe und Becken gegliedert. Die Riffe weiteten sich im Laufe des mittleren Anis aus; ihr Wachstum wurde jedoch in weiten Gebieten durch das Einsetzen des Tuffvulkanismus abrupt unterbrochen, der andererseits Kieselorganismen, wie den Radiolarien, günstige Lebensbedingungen schuf.

Der allem Anschein nach im Raum der nördlichen Kalkalpen auf gewisse Zentren beschränkte oberanische Vulkanismus gliederte sich in mehrere kurz-dauernde Eruptionsphasen. Er endete noch vor Beginn der ladinischen Stufe.

Nach einer Übergangszeit, in der verbreitet abwechselnd dickbankige und dünnbankige Kalke („Partnachkalk“) entstanden, setzte mehr oder weniger gleichzeitig im Wetterstein- und Mieminger Gebirge noch im Anis die Bildung mächtiger Riffe wieder ein. Nur gebietsweise (Nordrand des Wettersteingebirges, Westrand der Mieminger Berge) blieben tiefere Becken bestehen, in denen die feinklastischen Partnachmergel sich ablagerten. In den Mieminger Bergen wuchsen die Riffe später auch über sie hinweg, während am Nordrand des Wettersteingebirges die Beckenfazies das ganze Ladin hindurch anhielt.

Es fällt auf, daß das Vorwalten der durch fehlende Schichtung und Vorkommen von Stockkorallen und Großoolithen als solchen gekennzeichneten Riff f a z i e s an Gebiete geknüpft ist, in deren unmittelbarer Nachbarschaft die Partnachmergel (B e c k e n f a z i e s) reich entwickelt sind. In partnachmergelfernen Gebieten ist dagegen der Wettersteinkalk auch in seinen tieferen Teilen oft gut gebankt und führt zumindest stellenweise auch in unteren Horizonten Dasycladaceen (L a g u n e n f a z i e s).

Am Ende des Ladins herrschte im gesamten Untersuchungsgebiet mit Ausnahme des Partnachmergel-Beckens des nördlichen Wettersteingebirges ein lagenartiges Seichtmeer. Es bestehen Hinweise darauf, daß vor dem Beginn der Schüttung der Raibler Sandsteine und Tonmergel, die eine neue Sedimentationsperiode einleiten, zumindest submarine Erosion gebietsweise für eine Zeit die Sedimentation unterbrach.

Schriften

- ALMA, Fr. H.: Eine Fauna des Wettersteinkalkes bei Innsbruck. — Ann. Naturhistor. Mus. Wien, 40, S. 111—129, Taf. 10, Wien 1926.
- AMPFERER, O.: Grundzüge der Geologie des Mieminger Gebirges. — Verh. k. k. geol. R.-A. 1902, S. 170—180, Wien 1902.
- AMPFERER, O.: Einige allgemeine Ergebnisse der Hochgebirgsaufnahme zwischen Achensee und Fernpaß. — Verh. k. k. geol. R.-A. 1905, S. 118—125, Wien 1905. — [1905 a.]
- AMPFERER, O.: Geologische Beschreibung des Seefelder, Mieminger und südlichen Wettersteingebirges. — Jb. k. k. geol. R.-A., 55, S. 451—562, Taf. 12—14, Wien 1905. — [1905 b.]
- AMPFERER, O.: Erläuterungen zu den geologischen Karten der Lechtaler Alpen. — 125 S., 25 Taf., Wien 1932.

- AMPFERER, O.: Belastungswirkungen durch die Aufladung der Inntaldecke. — S.-B. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Abt. 1, 153, S. 17—44, Wien 1944.
- AMPFERER, O., & HAMMER, W.: Geologische Beschreibung des südlichen Theiles des Karwendelgebirges. — Jb. k. k. geol. R.-A., 48 (1898), S. 289—374, Wien 1899.
- AMPFERER, O., & OHNESORGE, Th.: Geologische Spezialkarte der im Reichsrat vertretenen Königreiche und Länder der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. Blatt Zirl und Nasse-reith. 1 : 75.000. — Wien (k. k. geol. R.-A.) 1912.
- AMPFERER, O., & OHNESORGE, Th.: Erläuterungen zur Geologischen Spezial-Karte der Republik Österreich, Blatt Zirl—Nasse-reith. — 68 S., Wien (Geol. Bundesanstalt) 1924.
- ARTHABER, G. v.: Die alpine Trias des Mediterran-Gebietes. — In: Frech, F.: Lethaea geognostica, 2, Das Mesozoikum, Trias, S. 223—472, Stuttgart (Schweizerbart) 1903—1908.
- CÖRNELIUS, H. P.: Zur magmatischen Tätigkeit in der alpidischen Geosynklinale. — Ber. Reichsst. Bodenforsch. 1941, S. 89—94, Wien 1941.
- DIENER, C.: Die marinen Reiche der Triasperiode. — Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 92, S. 405—549, 1 Karte, Wien 1915.
- GERMANN, K.: Die Erzvorkommen des mittleren Mieminger Gebirges. — 85 S., 19 Taf., 1 Karte. Unveröff. Dipl.-Arb., Univ. München 1963.
- GÜMBEL, C. W.: Geognostische Karte des Königreichs Bayern. Erste Abtheilung: Das bayerische Alpengebirge mit einem Theil der südbayerischen Hochebene. — 5 Blätter, München 1858.
- GÜMBEL, C. W.: Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vor-landes. — 950 S., 42 Taf., Gotha (Perthes) 1861.
- HABER, G.: Bau und Entstehung der bayerischen Alpen. — 206 S., München (Beck) 1934.
- HUCKRIEDE, R.: Trias, Jura und tiefe Kreide bei Kaisers in den Lechtaler Alpen (Tirol). — Verh. geol. B.-A. 1959, S. 44—91, Wien 1959. — [1959 a.]
- HUCKRIEDE, R.: Die Eisenspitze am Kalkpensüdrand (Lechtaler Alpen, Tirol). — Z. deutsch. geol. Ges., 111, S. 410—433, Hannover 1959. — [1959 b.]
- HUMMEL, K.: Zur Stratigraphie und Faziesentwicklung der südalpinen Mitteltrias. — N. Jb. Mineral., Geol. u. Paläont., Beil.-Bd. 68 B, S. 403—462, Taf. 9—10, Stuttgart 1932.
- JACOBSHAGEN, V.: Zur Gliederung der mediterranen Trias. I. Die Grenze Ladin/Karn. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1961, S. 477—483, Stuttgart 1961.
- KLEBELSBERG, R. v.: Geologie von Tirol. — 872 S., 1 Karte, 11 Beil., Berlin (Borntraeger) 1935.
- KOCKEL, C. W., RICHTER, M. & STEINMANN, H. G.: Geologie der Bayrischen Berge zwischen Lech und Loisach. — Wiss. Veröff. D. u. Ö. A. V., 10, 231 S., 1 Karte, 1 Prof.-Taf., 17 Taf., Innsbruck 1931.
- KRUMM, H.: Der geologische Aufbau des Mittleren Wettersteingebirges östlich der Partnach. — Unveröff. Dipl.-Arb., 120 S., TH München 1957.
- LEUCHS, K.: Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seine Bedeutung für die Entwicklungs geschichte der deutschen Kalkalpen. — Z. deutsch. geol. Ges., 75 B (1923), S. 100—113, Berlin 1924.
- LEUCHS, K.: Geologie von Bayern. 2. Teil: Bayrische Alpen. — 374 S., 20 Taf., Berlin (Born- traeger) 1927.
- LEUCHS, K.: Beiträge zur Lithogenesis kalkalpiner Sedimente. I. Teil: Beobachtungen an Riff- gesteinen der nordalpinen Trias. — N. Jb. Mineral., Geol. Paläont., Beil.-Bd. 59 B, S. 357—408, Taf. 25—35, Stuttgart 1928.
- LEUCHS, K.: Anisisch-ladinische Grenze und ladinische Hallstätter Fazies in den Nordalpen. — S.-B. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. 1, 156, S. 445—459, Wien 1947.
- MILLER, H.: Der Bau des westlichen Wettersteingebirges. — Z. deutsch. geol. Ges., 113 (1961), S. 409—425, Hannover 1962.
- MILLER, H.: Die tektonischen Beziehungen zwischen Wetterstein- und Mieminger Gebirge (Nördliche Kalkalpen). — N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 118, S. 291—320, Taf. 32—34, Stuttgart 1963.
- MOJSISOVICS, E. v.: Über die Gliederung der oberen Triasbildungen der östlichen Alpen. — Jb. k. k. geol. R.-A., 19, S. 91—149, Taf. 2—4, Wien 1869.
- MOJSISOVICS, E. v.: Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. — Abh. k. k. geol. R.-A., 10, 322 S., 94 Taf., Wien 1882.
- MOJSISOVICS, E. v.: Die Hallstätter Entwicklung der Trias. — S.-B. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 101 (1), S. 769—779, Wien 1892.
- MYLIUS, H.: Ein Beitrag zum geologischen Bau des Wettersteingebirges. — N. Jb. Mineral., Geol. Paläont., 1916, 1, S. 10—40, Taf. 3—4, Stuttgart 1916.
- PIA, J.: Geologische Skizze der Südwestecke des Steinernen Meeres bei Saalfelden mit be- sonderer Rücksicht auf die Diploporengesteine. — S.-B. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Abt. 1, 132 (1923), S. 35—79, 2 Taf., Wien 1924.

- PIA, J.: Grundbegriffe der Stratigraphie mit ausführlicher Anwendung auf die europäische Mitteltrias. — 252 S., Leipzig und Wien (Deuticke) 1930.
- REIS, O. M.: Die Fauna des Wettersteinkalks. I. Teil. Cephalopoden. — Geogn. Jh., 13, S. 71—105, Taf. 2—7, München 1900.
- REIS, O. M.: Die Fauna des Wettersteinkalks. II. Teil. Nachtrag zu den Cephalopoden. — Geogn. Jh., 18, S. 113—152, Taf. 1—4, München 1905.
- REIS, O. M.: Die Fauna des Wettersteinkalks. III. Teil. Gastropoden, Bivalven, Brachiopoden etc. — Geogn. Jh., 39, S. 87—138, Taf. 1—10, München 1926.
- REIS, O. M.: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wettersteingebirges. — Geogn. Jh., 23 (1910), S. 61—114, München 1911.
- RICHTER, M.: Die deutschen Alpen und ihre Entstehung. — 179 S., Berlin (Borntraeger) 1937.
- ROTHPLETZ, A.: Das Karwendelgebirge. — Z. D. u. Ö. A. V., 19, S. 401—470, Taf. 14—21, 1 Karte, München 1888.
- ROTHPLETZ, A.: Ein geologischer Querschnitt durch die Ost-Alpen nebst Anhang über die sog. Glarner Doppelfalte. — 268 S., 2 Taf., Stuttgart (Schweizerbart) 1894.
- SCHMIDEGG, O.: Die Stellung der Haller Salzlagerstätte im Bau des Karwendelgebirges. — Jb. geol. B.-A., 94 (1949—1951), S. 159—205, Taf. 19—20, Wien 1951.
- SCHNEIDER, H.-J.: Der Bau des Arnspitzstocks und seine tektonische Stellung zwischen Wetterstein- und Karwendelgebirge. — Geol. Bav., 17, S. 17—55, Taf. 1, München 1953. — [1953 a].
- SCHNEIDER, H.-J.: Lagerstättenkundliche Untersuchungen am Oberen Wettersteinkalk der bayrischen Kalkalpen östlich der Loisach. — 131 S., Diss. Univ. München 1953. — [1953 b].
- SKUPHOS, Th. G.: Die stratigraphische Stellung der Partnach- und der sogenannten Unteren Cardita-Schichten in den Nordtiroler und Bayerischen Alpen. — Geogn. Jh., 4 (1891), S. 87—142, Kassel 1892.
- TAUPITZ, K.-Chr.: Die Blei-, Zink- und Schwefelerzlagerstätten der nördlichen Kalkalpen westlich der Loisach. — 120 S., 5 Taf., Diss. Bergakad. Clausthal 1954.
- VIDAL, H.: Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Tektonik des nordwestlichen Wettersteingebirges und seines nördlichen Vorlandes. — Geol. Bav., 17, S. 56—88, München 1953.
- WÖHRMANN, S. v.: Die Raibler Schichten nebst kritischer Zusammenstellung ihrer Fauna. — Jb. k. k. geol. R.-A., S. 617—768, 1 Tab., Taf. 13, Wien 1893.
- WÖHRMANN, S. v.: Alpine und ausseralpine Trias. — N. Jb. Mineral., Geol. Palaeont. 1894 (2), S. 1—50, Stuttgart 1894.
- ZANKL, H.: Die Geologie der Torrener-Joch-Zone in den Berchtesgadener Alpen. — Z. deutsch. geol. Ges., 113 (1961), S. 446—462, Hannover 1962.

Nachtrag (zu Kapitel 4.3): Während der Drucklegung erschien eine Veröffentlichung von H. ZAPFE (Das Mesozoikum in Österreich. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 56 (1963), S. 361—399, Wien 1964). Dort nimmt der Autor gegen das Bestreben mehrerer Publikationen Stellung, in denen für eine Grenzziehung Ladin/Karn unterhalb des Cordevols gesprochen wird. ZAPFE hat zweifellos recht, wenn er schreibt, daß die Ladin/Karn-Grenze damit außerhalb des Idealprofils von Epidauros kaum exakt faßbar ist. Doch ist sie das bei einer Einstufung über dem Cordevol ebensowenig. Warum nützen wir denn nicht den Brauch aus, zwischen Gesteinsgruppen und Altersskala nomenklatorisch zu unterscheiden? Die Altersskala muß am bestmöglichen Ort geeicht werden, beim Kartieren muß der lithologische Unterschied betont werden. Wenn paläontologische und lithologische Grenze zusammenfallen, dann umso besser; wenn sie's nicht tun, so ist es meines Erachtens vorteilhafter, sie auseinanderzuhalten, als durch Verquickung beider Gliederungsprinzipien die Gefahr der Unklarheit zu laufen.